



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104539187 A

(43) 申请公布日 2015. 04. 22

(21) 申请号 201410747017. 3

(22) 申请日 2014. 12. 01

(71) 申请人 东北电力大学

地址 132012 吉林省吉林市长春路 169 号

(72) 发明人 刘闯 蔡国伟

(51) Int. Cl.

H02M 7/72(2006. 01)

H02J 5/00(2006. 01)

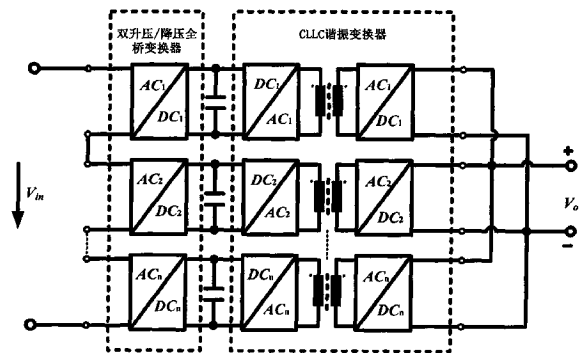
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种新型有源前端控制器拓扑结构

(57) 摘要

本发明涉及一种新型有源前端控制器拓扑结构,双降压/升压式AC/DC变换器,DC/DC CLLC谐振变换器。其特点是,将双降压/升压全桥式变换器与CLLC谐振变换器模块作AFEC本体拓扑结构的核心组成部分,采取输入串联、输出并联方式组合而成,通过利用电力电子技术与高频隔离技术来实现中压交流配电网与低压直流配电网之间功率相互变换。同时对低压直流侧母线进行电压调节控制,达到中压交流侧与低压直流侧的功率平衡;能够根据不同的实际要求,达到无功补偿、有源滤波和功率双向变换等功能。本拓扑结构能够充分地发挥有源前端控制器的潜在价值,具备较高的可靠性和系统效率,具有较好的模块性并满足不同电压等级要求。



1. 一种新型有源前端控制器拓扑结构,其特征在于,包括由双降压 / 升压全桥变换器组成的 AC/DC 第一功率变换器 (1),和由 CLLC 谐振变换器组成的 DC/DC 第二功率变换器 (2);第一功率变换器 (1) 的 DC 端并联稳压电容,第二功率变换器 (2) 的输入 DC 端;用以实现中压工频交流到中压直流的 AC-DC 功率过程和中压直流到低压直流的 DC-DC 功率变换过程;

采用基于单级控制系统结构概念的 AFEC 统一控制策略:在 CLLC 谐振变换器模块工作谐振模式下能够保持电压增益不变,输出并联型 DC-DC 谐振模块能够使得各独立中间直流侧输入电压被钳住在特定电压下,与输出直流侧电压间的变比保持恒定,因此采取输出并联型谐振变换器组合将公共低压直流侧与级联型变换器相互独立的直流侧建立成统一整体。

2. 根据权利要求 1 所述的新型有源前端控制器拓扑结构,其特征在于,所述第一功率变换器 (1),包括第一功率二极管 (D1)、第一功率开关管 (S1)、第一电抗器 (L1) 构成的第一桥臂,第二功率二极管 (D2)、第二功率开关管 (S2)、第三电抗器 (L2) 构成的第二桥臂,第三功率二极管 (D3)、第三功率开关管 (S3)、第三电抗器 (L3) 构成的第三桥臂和第四功率二极管 (D4)、第四功率开关管 (S4)、第四电抗器 (L4) 构成的第四桥臂;

所述第一桥臂,包括第一功率二极管 (D1) 和第一功率开关管 (S1) 串联,二者公共点连接第一电抗器一端;所述第二桥臂,包括第二功率二极管 (D2) 和第二功率开关管 (S2) 串联,二者公共点连接第二电抗器一端;所述第三桥臂,包括第三功率二极管 (D3) 和第三功率开关管 (S3) 串联,二者公共点连接第三电抗器一端;所述第四桥臂,包括第四功率二极管 (D4) 和第四功率开关管 (S4) 串联,二者公共点连接第四电抗器一端。

3. 根据权利要求 2 所述的新型有源前端控制器拓扑结构,其特征在于,所述第一电抗器 (L1) 和第二电抗器 (L2) 并联,连接 AC 侧正极;所述第三电抗器 (L3) 和第四电抗器 (L4) 并联,连接 AC 侧负极;第一功率二极管 (D1)、第三功率二极管 (D3) 阴极,第二功率开关管 (S2)、第四功率开关管 (S4) 源级连接直流侧正极,第二功率二极管 (D2)、第四功率二极管 (D4) 阳极,第一功率开关管 (S1)、第三功率开关管 (S3) 漏极连接直流侧负极。

4. 根据权利要求 1 所述的新型有源前端控制器拓扑结构,其特征在于,所述第二功率变换器 (2),包括第五功率开关管 (S5)、第六功率开关管 (S6)、第七功率开关管 (S7) 和第八功率开关管 (S8) 构成的全桥逆变电路;第二电容器 (C2)、第三电容器 (C3) 和高频变压器 (T) 构成的谐振电路;第九功率开关管 (S9)、第十功率开关管 (S10)、第十一功率开关管 (S11)、第十二功率开关管 (S12) 构成的全桥整流电路,其中,

第五功率开关管 (S5) 漏极和第六功率开关管 (S6) 源极相连,第七功率开关管 (S7) 漏极和第八功率开关管 (S8) 源极相连,第五功率开关管 (S5) 源极和第七功率开关管 (S7) 源极相连,第六功率开关管 (S6) 漏极与第八功率开关管 (S8) 漏极相连构成所述全桥逆变电路。

5. 根据权利要求 4 所述的新型有源前端控制器拓扑结构,其特征在于,第二电容器 (C2) 和高压变压器 (T) 一次侧串联,第三电容器 (C3) 和高压变压器 (T) 二次侧串联构成所述 CLLC 谐振电路;

第九功率开关管 (S9) 漏极与第十功率开关管 (S10) 源级相连,第十一功率开关管 (S11) 漏极第十二功率开关管 (S12) 源级相连,第九功率开关管 (S9) 源级与第十一功率开关管 (S11) 源级相连后接入第四电容器 (C4) 正极,第十功率开关管 (S10) 漏极与第十二功

率开关管 (S12) 漏极相连后接入第四电容器 (C4) 负极构成所述的全桥整流电路；

所述全桥逆变电路输出与 CLLC 电路一次侧相连,全桥整流输入端与 CLLC 电路二次侧相连。

一种新型有源前端控制器拓扑结构

技术领域

[0001] 本发明涉及 AFEC 拓扑结构领域,尤其涉及一种基于双降压/升压全桥式变换器与 CLLC 谐振变换器结合的新型 AFEC 拓扑结构。

背景技术

[0002] 智能通用变压器中有源前端控制器 (Active Front-End Controller, AFEC) 是利用电力电子技术与高频隔离技术来实现中压交流配电网与低压直流配电网之间功率相互变换的装置。该控制器本质的功能是对低压直流侧母线进行电压调节控制,达到中压交流侧与低压直流侧的功率平衡;同时根据不同的实际要求,可达到无功补偿、有源滤波和功率双向变换等功能。可方便地为新型电源及负载(如电动汽车)提供直流接口,更符合未来直流配电网的发展趋势。

[0003] 现阶段 AFEC 控制器的主要问题有:1. 在 AC/DC 变换器环节,现阶段因为采用传统 H-桥变换器和 3 电平 NPC 变换器模块,存在主要问题是:(1) 每个桥臂上存在串联主动开关,因此存在着直通问题;(2) 虽然开关等效频率随着级联模块数增加而增加,但是每个模块的开关频率还是受到限制,因为随着频率增加,死区时间的比重将越来越大,进而导致直流电压利用率降低;(3) 不能简单地直接采用 MOSFET,因为高压 MOSFET 的寄生二极管的特性非常差,因而失去了 MOSFET 的较低开关损耗、电阻性导通特性、高频化等优点。

[0004] 2. 后端输出并联型 DC-DC 变换器采用 2 电平/三电平 DAB 变换器,由于其必须采取闭环控制移相角来保证电压输出特性,因此存在着低载稳定控制等难题;同时也可采用基于变频控制的谐振变换器,如串联谐振变换器等,但是多模块的变频控制实现具有一定的复杂性。

[0005] 基于上述缺陷,本发明作者经过长时间的研究和实践获得了本创作。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种新型有源前端控制器拓扑结构,用以克服上述技术缺陷。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供一种新型有源前端控制器拓扑结构,是将双降压/升压全桥式变换器与 CLLC 谐振变换器模块作 AFEC 本体拓扑结构的核心组成部分,采取输入串联、输出并联方式组合而成。串联而成的前端 AC-DC 变换器是级联型双降压/升压全桥式变换器,相比于传统级联 H-桥变换器,该变换器仍然是电压源型逆变器,但是具有特殊拓扑结构和运行方式,很大程度地避免了直通的可能性,在一定程度上增加了系统的可靠性。同时,无需设置死区时间,高频化的同时可以实现占空比最大化,更好地提高直流侧电压利用率。输出并联型 CLLC 谐振变换器组合将公共低压直流侧与级联型双降压/升压全桥式变换器相互独立的直流侧建立成统一整体,通过采取 ZVS-ZCS 控制方式很好地解决了能量双向流动及均流控制难题。

[0008] 本设计所述基本模块包括第一级功率变换器和第二级功率变换器两部分,第一级

功率变换器为双降压 / 升压全桥 AC-DC 电路, 第二级功率变换器为 CLLC 谐振 DC-DC 变换器, 第一级与第二级功率变换器之间通过稳压电容连接。所述第二级功率变换器由全桥 AC/DC 变换器后串接电容器后接入高频变压器一次侧, 高频变压器二次侧串接电容器后接入全桥 DC/AC 变换器所构成。

[0009] 进一步地, 所述第一级功率变换器, 是由第一功率二极管、第一功率开关管、第一电抗器构成的第一桥臂, 第二功率二极管、第二功率开关管、第三电抗器构成的第二桥臂, 第三功率二极管、第三功率开关管、第三电抗器构成的第三桥臂和第四功率二极管、第四功率开关管、第四电抗器构成的第四桥臂组成的。所述第一桥臂, 由第一功率二极管和第一功率开关管串联, 二者公共点连接第一电抗器一端构成; 所述第二桥臂, 由第二功率二极管和第二功率开关管串联, 二者公共点连接第二电抗器一端构成; 所述第三桥臂, 由第三功率二极管和第三功率开关管串联, 二者公共点连接第三电抗器一端构成; 所述第四桥臂, 由第四功率二极管和第四功率开关管串联, 二者公共点连接第四电抗器一端构成。

[0010] 进一步地, 所述第一电抗器和第二电抗器并联, 连接 AC 侧正极; 所述第三电抗器和第四电抗器并联, 连接 AC 侧负极。第一功率二极管、第三功率二极管阴极, 第二功率开关管、第四功率开关管源级连接直流侧正极, 第二功率二极管、第四功率二极管阳极, 第一功率开关管、第三功率开关管漏极连接直流侧负极。

[0011] 进一步地, 所述第二级功率变换器, 是由第五功率开关管、第六功率开关管、第七功率开关管和第八功率开关管构成的全桥逆变电路; 第二电容器、第三电容器和高频变压器构成的谐振电路; 第九功率开关管、第十功率开关管、第十一功率开关管、第十二功率开关管构成的全桥整流电路组成的。第五功率开关管漏极和第六功率开关管源极相连, 第七功率开关管漏极和第八功率开关管源极相连, 第五功率开关管源极和第七功率开关管源极相连, 第六功率开关管漏极与第八功率开关管漏极相连构成所述全桥逆变电路。

[0012] 进一步地, 第二电容器和高频变压器一次侧串联, 第三电容器和高频变压器二次侧串联构成所述 CLLC 谐振电路。第九功率开关管漏极与第十功率开关管源级相连, 第十一功率开关管漏极第十二功率开关管源级相连, 第九功率开关管源级与第十一功率开关管源级相连后接入第四电容器正极, 第十功率开关管漏极与第十二功率开关管漏极相连后接入第四电容器负极构成所述的全桥整流电路。所述全桥逆变电路输出与 CLLC 电路一次侧相连, 全桥整流输入端与 CLLC 电路二次侧相连。

[0013] 进一步地, 所述每个功率开关管, 均可采用高频 IGBT、SiC Mosfet 等主动开关管。

[0014] 与现有技术相比较本发明的有益效果在于: 通过利用电力电子技术与高频隔离技术来实现中压交流配电网与低压直流配电网之间功率相互变换。对低压直流侧母线进行电压调节控制, 达到中压交流侧与低压直流侧的功率平衡; 能够根据不同的实际要求, 达到无功补偿、有源滤波和功率双向变换等功能。本拓扑结构实现了中压工频交流到中压直流的 AC-DC 功率过程和中压直流到低压直流的 DC-DC 功率变换过程, 完成了高频隔离、能量传递和降压的功能。同时能够充分地发挥有源前端控制器的潜在价值, 具备较高的可靠性和系统效率, 具有较好的模块性并可满足不同电压等级要求。

[0015] 级联型双升压 / 降压变换器作为 AFEC 前端 AC-DC 变换器, 具有无桥臂直通、直流侧电压利用率高、功率管及续流二极管可优化选取等功能, 同时结合 SiC 技术, 提高开关频率, 具有优越的输出特性、EMI 特性、散热特性、可靠性。高频高效的 CLLC 谐振变换器作

为 AFEC 后端输出并联型 DC-DC 变换器；在无需缓冲电路的情况下，实现了功率双向流动、ZVS-ZCS 工作模式，抑制了开关损耗。采用基于单级控制系统结构概念的 AFEC 统一控制策略；在 CLLC 谐振变换器模块工作谐振模式下能够保持电压增益不变，特别是输出并联型 DC-DC 谐振模块能够使得各独立中间直流侧输入电压被钳住在特定电压下，与输出直流侧电压间的变比保持恒定，因此采取输出并联型谐振变换器组合将公共低压直流侧与级联型变换器相互独立的直流侧建立成统一整体，利用谐振变换器自身工作特性达到均流及中间直流侧电压钳位作用来实现单级控制系统方案，能够使得系统控制复杂程度不会随着级联模块数增加而增大。

附图说明

[0016] 图 1 为本发明的新型 AFEC 拓扑结构模块示意图；

[0017] 图 2 为本发明的新型 AFEC 拓扑结构的级联的示意图；

[0018] 图 3 为本发明的基于单级控制系统概念的 AFEC 统一控制策略框图。

具体实施方式

[0019] 以下结合附图，对本发明上述的和另外的技术特征和优点作更详细的说明。

[0020] 请参阅图 1 所示，本发明是一种基于双降压 / 升压全桥式变换器与 CLLC 谐振变换器结合的新型 AFEC 拓扑结构。

[0021] 第一功率变换器 1，是由第一功率二极管 D1、第一功率开关管 S1、第一电抗器 L1 构成的第一桥臂，第二功率二极管 D2、第二功率开关管 S2、第三电抗器 L2 构成的第二桥臂，第三功率二极管 D3、第三功率开关管 S3、第三电抗器 L3 构成的第三桥臂和第四功率二极管 D4、第四功率开关管 S4、第四电抗器 L4 构成的第四桥臂组成的。

[0022] 所述第一桥臂，由第一功率二极管 D1 和第一功率开关管 S1 串联，二者公共点连接第一电抗器一端构成；所述第二桥臂，由第二功率二极管 D2 和第二功率开关管 S2 串联，二者公共点连接第二电抗器一端构成；所述第三桥臂，由第三功率二极管 D3 和第三功率开关管 S3 串联，二者公共点连接第三电抗器一端构成；所述第四桥臂，由第四功率二极管 D4 和第四功率开关管 S4 串联，二者公共点连接第四电抗器一端构成。

[0023] 所述第一电抗器 L1 和第二电抗器 L2 并联，连接 AC 侧正极；所述第三电抗器 L3 和第四电抗器 L4 并联，连接 AC 侧负极。第一功率二极管 D1、第三功率二极管 D3 阴极，第二功率开关管 S2、第四功率开关管 S4 源级连接直流侧正极，第二功率二极管 D2、第四功率二极管 D4 阳极，第一功率开关管 S1、第三功率开关管 S3 漏极连接直流侧负极。

[0024] 第二功率变换器 2，是由第五功率开关管 S5、第六功率开关管 S6、第七功率开关管 S7 和第八功率开关管 S8 构成的全桥逆变电路；第二电容器 C2、第三电容器 C3 和高频变压器 T 构成的谐振电路；第九功率开关管 S9、第十功率开关管 S10、第十一功率开关管 S11、第十二功率开关管 S12 构成的全桥整流电路组成的。第五功率开关管 S5 漏极和第六功率开关管 S6 源极相连，第七功率开关管 S7 漏极和第八功率开关管 S8 源极相连，第五功率开关管 S5 源极和第七功率开关管 S7 源极相连，第六功率开关管 S6 漏极与第八功率开关管 S8 漏极相连构成所述全桥逆变电路。第二电容器 C2 和高压变压器 T 一次侧串联，第三电容器 C3 和高压变压器 T 二次侧串联构成所述 CLLC 谐振电路。第九功率开关管 S9 漏极与第十功率开

关管 S10 源级相连,第十一功率开关管 S11 漏极第十二功率开关管 S12 源级相连,第九功率开关管 S9 源级与第十一功率开关管 S11 源级相连后接入第四电容器 C4 正极,第十功率开关管 S10 漏极与第十二功率开关管 S12 漏极相连后接入第四电容器 C4 负极构成所述的全桥整流电路。所述全桥逆变电路输出与 CLLC 电路一次侧相连,全桥整流输入端与 CLLC 电路二次侧相连。所述的每个功率开关管均为 SiC Mosfet。

[0025] 如图 2 所示,其为基于双降压 / 升压全桥式变换器与 CLLC 谐振变换器模块化的级联图,各模块功率变换器 1,即 AC/DC 变换器,输入侧级联,可方便接入更高等级电压,并依据输入电压进行调整。而后经过功率变换器 1 将交流电能变为直流,再通过 CLLC 谐振电路,通过 AC/DC 电能变换和 CLLC 谐振回路,对高频交流进行高效的电压等级变换,而后 CLLC 谐振电路输出直流侧,并联使用,以此提高电流能力增大整体功率等级。

[0026] 如图 3 所示,其为基于单级控制系统概念的 AFEC 统一控制策略框图。采取输出并联型 CLLC 谐振变换器组合将公共低压直流侧与级联型双降压 / 升压全桥式变换器相互独立的直流侧建立成统一整体,通过采取 ZVS-ZCS 开环控制方式很好地解决了能量双向流动及均流控制难题,实现了 AFEC 的单级控制系统方案。

[0027] 本发明为一种新型 AFEC 拓扑结构,将双降压 / 升压全桥式变换器与 CLLC 谐振变换器模块作 AFEC 本体拓扑结构的核心组成部分,通过利用电力电子技术与高频隔离技术来实现中压交流配电网与低压直流配电网之间功率相互变换。对低压直流侧母线进行电压调节控制,达到中压交流侧与低压直流侧的功率平衡;能够根据不同的实际要求,达到无功补偿、有源滤波和功率双向变换等功能。能够充分地发挥有源前端控制器的潜在价值,具备较高的可靠性和系统效率,具有较好的模块性并满足不同电压等级要求。

[0028] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,对发明而言仅仅是说明性的,而非限制性的。本专业技术人员理解,在发明权利要求所限定的精神和范围内可对其进行许多改变,修改,甚至等效,但都将落入本发明的保护范围内。

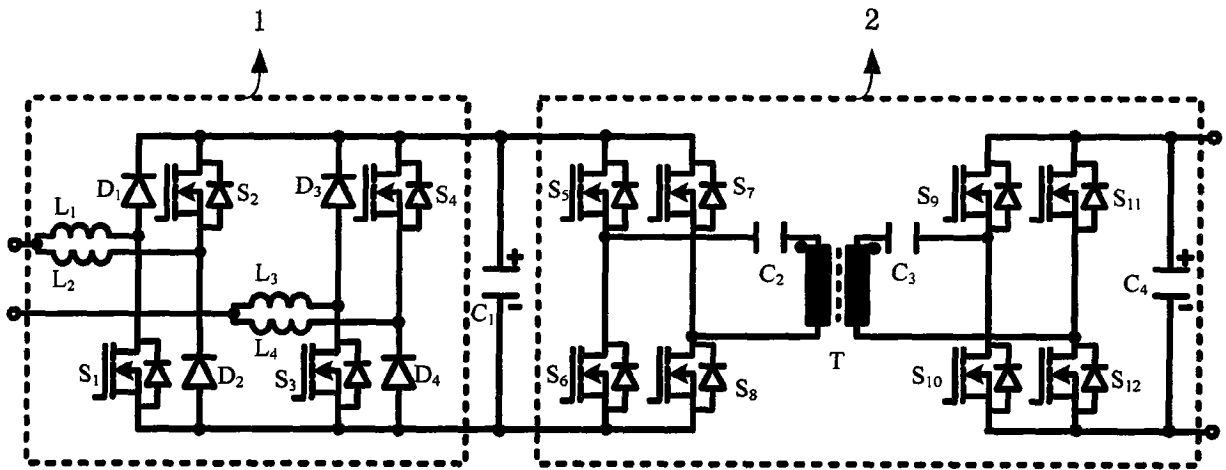


图 1

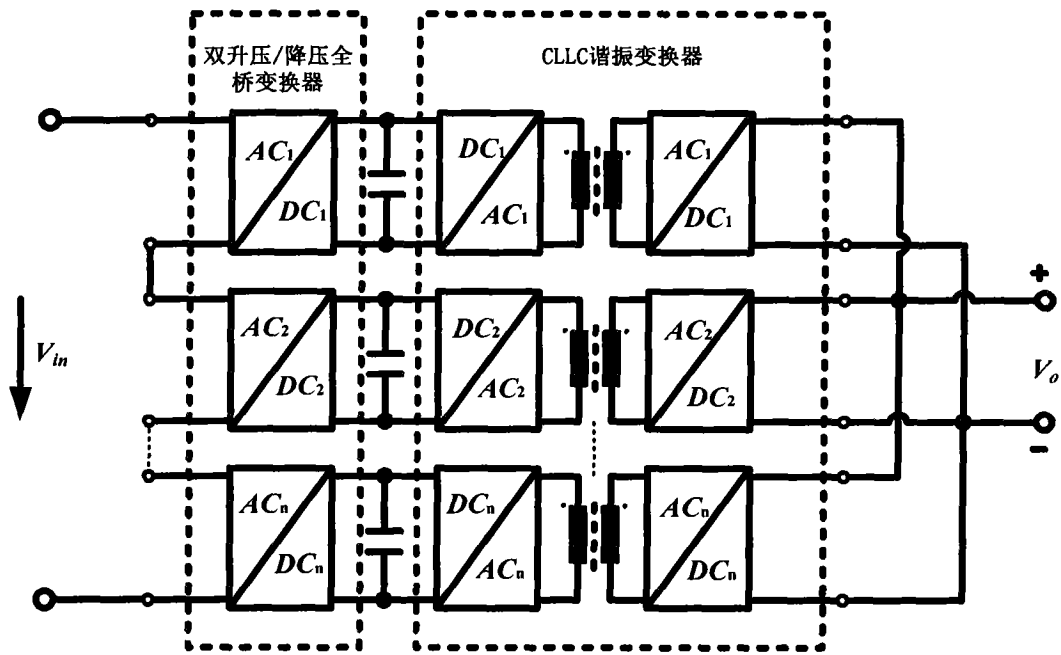


图 2

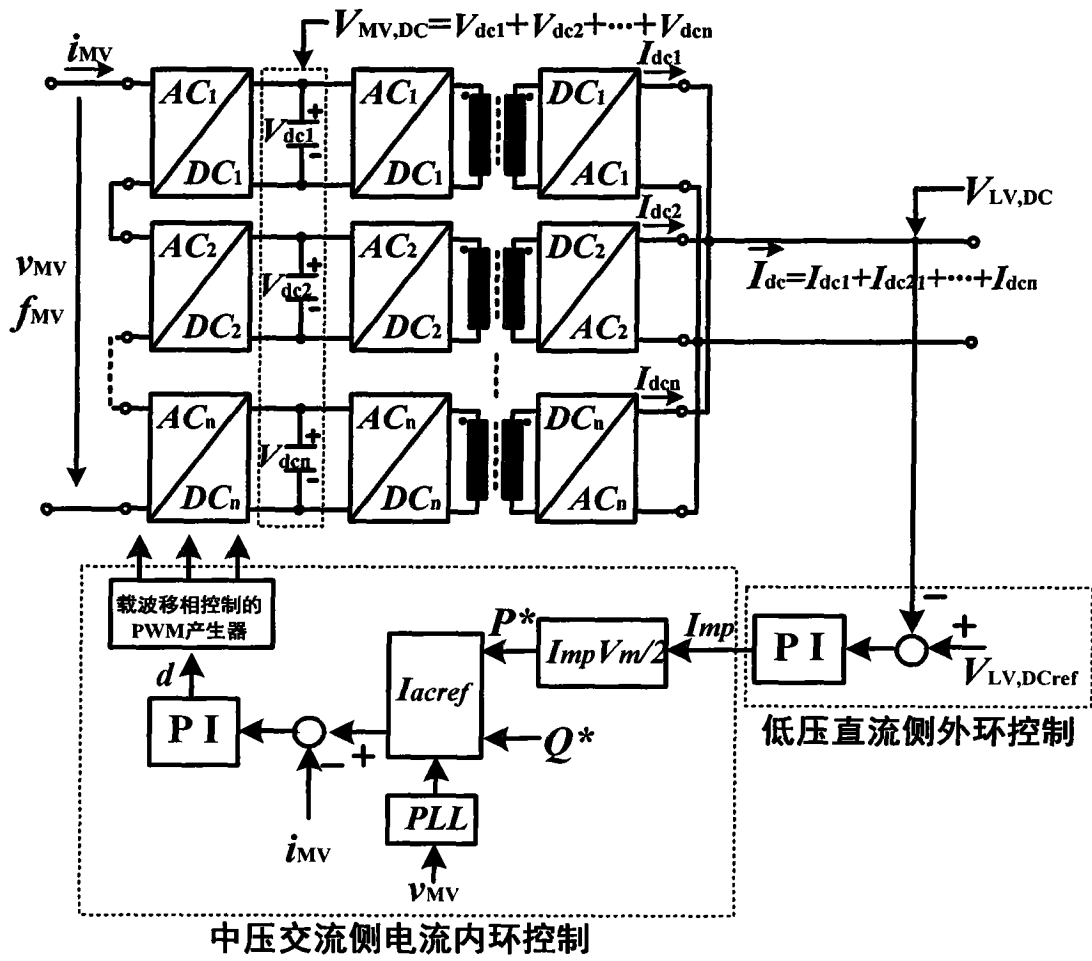


图 3